

Caracterização das propriedades geotécnicas do Lodo ETA para uso em pavimentos de baixo volume de tráfego

Palavras-Chave: LETA, CARACTERIZAÇÃO, PAVIMENTO

Autores/as:

BRUNO A. K. MARTINS, FT, UNICAMP

Prof.^a Dr.^a Vivian Silveira dos Santos Bardini (orientadora) FT, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A destinação do LETA no Brasil frequentemente se resume à sua disposição no meio ambiente, uma prática que contraria regulamentações ambientais. Apesar das leis brasileiras que buscam controlar a emissão de poluentes no meio ambiente, proibindo o descarte de efluentes em níveis prejudiciais à saúde humana e outras formas de vida, essa prática ainda persiste em muitas regiões do país. (SANTOS e CAMPOS, 2018)

No entanto apesar das pesquisas relacionadas a aplicação prática do lodo de ETA serem escassas, alguns autores apontam este material como um potencial material geotécnico. (TSUGAWA et al, 2019).

Pelo processo de secagem, através de uma estufa ou exposto ao ambiente, o LETA adquire propriedades geotécnicas interessantes, despertando o interesse da sua utilização na área da construção civil e assim oferecendo um destino apropriado para esse resíduo.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pelo DNIT, é possível constatar que a combinação de solos com lodo proveniente de ETA's pode ser empregada na camada de subleito de um pavimento. (COELHO et al, 2015). O entendimento das propriedades físico-químicas do LETA é essencial para formular um material geotécnico adequado, todavia grande parte dos ensaios geotécnicos foram projetados para solos e não para lodos (TSUGAWA et al, 2019).

METODOLOGIA:

No seguinte trabalho foram coletadas 6 amostras de lodo da ETA 1 e 5 amostras da ETA 2 totalizando um total de 11 amostras. As amostras referentes a ETA 1 foram coletadas a cada 2 meses iniciando em 12/2022 e terminando em 10/2023 proporcionando um total de 6 amostras da primeira ETA. No entanto, as amostras da segunda ETA tiveram início na data de 02/2023 e terminando em março de 2024 com exceção da amostra de dezembro de 2023, semelhante a coleta das amostras da ETA 1, ou seja, 5 amostras. No entanto optou-se por

realizar os ensaios em apenas algumas das amostras visto a grande quantidade de material.

Primeiramente foram realizados os ensaios de granulometria e massa específica com as amostras “in natura”, no entanto não foi possível conduzir os demais ensaios com a amostra nessa condição devido a sua difícil trabalhabilidade.



Figura 1: processo de secagem do LETA

Posteriormente foram utilizadas amostras em duas condições: “peneirado” e “bruta”. Onde ambas as amostras foram distribuídas em bandejas e secas ao ar, no entanto as amostras com a condição “peneirado” foram peneiradas na peneira de número #2,00 (50 mm). Após este processo foi feita a moagem do material para reduzir o tamanho dos grãos e realizar o ensaio de granulometria, processo este que demandou um enorme trabalho e tempo visto que o LETA após seco fica extremamente endurecido.

Foram utilizadas essas duas condições para nortear os demais ensaios pois o LETA não é inteiramente um solo além de ser um material com uma trabalhabilidade complicada. Outro fator importante é o de que o lodo “in natura” sem o processo de secagem possui o teor de umidade muito alto, sendo necessário coletar grande quantidade de material para a realização do ensaio pois a norma exige um valor mínimo

de massa de sólidos tornando o ensaio muito complicado de realizar o ensaio desta maneira.

As normas vigentes para os ensaios constam na tabela abaixo:

Tabela 1 – Normas utilizadas	
Ensaio	Norma vigente
Teor de umidade	NBR 6.457 (ABNT, 2016)
Massa específica dos grãos	NBR 6.458 (ABNT, 2016)
Granulometria	NBR 7.181 (ABNT, 2016)

Como ilustrado na tabela anterior a metodologia utilizada tem como base as normas para cada ensaio, porém foi constatado na pesquisa diversos entraves por conta do material utilizado o Lodo de ETA (ou LETA) e não menos importante a falta de normas específicas para a realizar a caracterização do material. Para superar esses entraves foram realizadas algumas adaptações nas normas, coisas sutis que foram necessárias para a realização dos ensaios.

Enfatizando os índices físicos, os solos exibem uma ampla gama de tipos e condições, exibindo comportamentos variados. A imagem abaixo elucida o diagrama de fases de um solo:

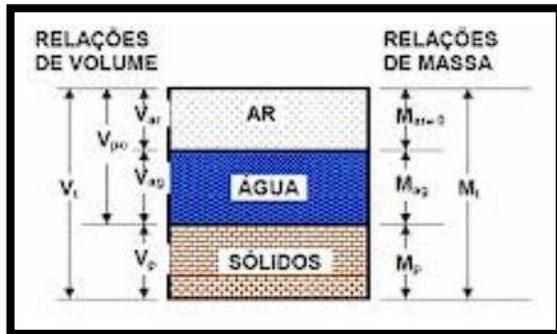


Figura 2: diagrama de solo (UFRGS)

Conforme a figura, é essa maneira que surgem as relações que determinam os índices físicos de um determinado solo. Os ensaios realizados em laboratório resultam na determinação do teor de umidade, massa específica do solo, massa específica dos sólidos ao mesmo tempo que os demais índices físicos podem ser determinados através de equações a partir desses ensaios realizados em laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir do ensaio de granulometria foi possível traçar a curva granulométrica das amostras. A maior parte das curvas apresentam uma alta porcentagem de silte, no entanto as amostras de 12/22 e 04/23 possuem uma fração um pouco maior de areia conforme ilustrado:

Figura 3: granulometria da amostra 12/2022 (bruta e peneirada respectivamente).

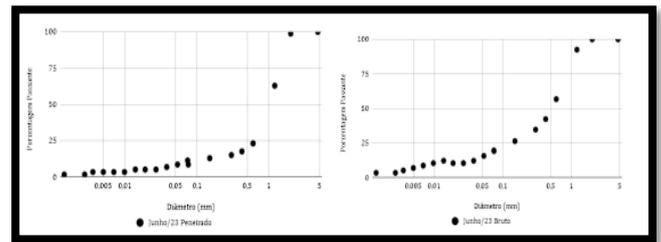


Figura 4: granulometria da amostra 04/2023 (bruta e peneirada respectivamente)

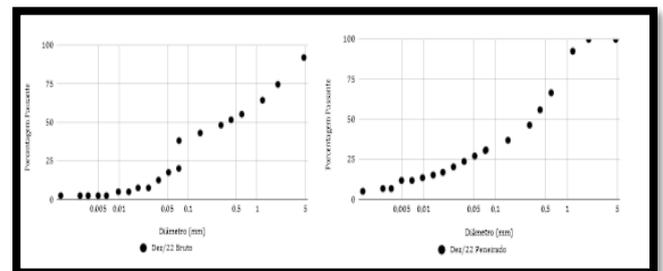
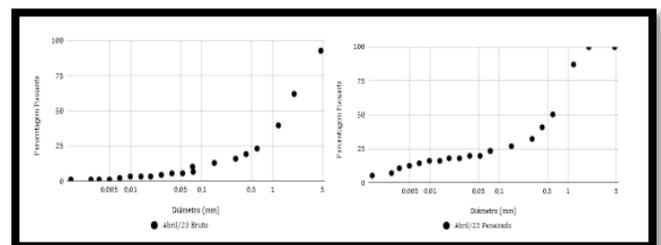


Figura 5: granulometria da amostra 06/2023 (bruta e peneirada respectivamente)



Agora, após realizar o controle de umidade, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 2: umidades ETA 1

DIA	Umidade (%)
1	453,23
2	415,85
3	390,45
4	346,79
5	319,10
8	185,21
9	141,53
16	18,43

Tabela 3: umidades ETA 2

DIA	Umidade (%)
1	268,85
2	259,08
3	243,73
4	227,88
5	225,63
8	182,91
9	177,32
16	96,24

Em relação a massa específica foram obtidos os seguintes dados:

Tabela 4: massa específica

Amostra	Massa específica (g/cm ³)
12/2022	2,04
02/2023	1,61
04/2023	1,93
06/2023	2,06
08/2023	1,61

CONCLUSÕES:

Diante do exposto fica evidente que o LETA é um tipo de resíduo que não possui um destino, muitas vezes sendo descartado.

A condição “*in natura*” do LETA tem um elevado teor de umidade acarretando diversos entraves para a realização de ensaios. Por conta disso torna-se necessário o processo de secagem de cada amostra para a realização de ensaios laboratoriais, processo este que exige grande quota de tempo.

Em relação a massa específica do lodo, nota-se valores abaixo das massas específicas encontradas em solos que varia entre 2,50 g/cm³ até 3,00 g/cm³.

As curvas granulo métricas evidenciam que se trata de um material siltoso que possui características mínimas de areia o que combina com a característica do material após o processo de moagem.

Com todos esses pontos ressaltados, conclui-se que o LETA é um material extremamente complicado de se trabalhar em laboratório pois não possui uma norma pré-estabelecida. Além de que o processo de adequação de outras normas (normas voltadas para solo) para a caracterização desse material necessita ser bem minucioso. É importante citar que os resultados obtidos não são uma verdade absoluta, mas sim um passo a mais para entender a natureza do LETA e criar um destino adequado para ele.

BIBLIOGRAFIA

- COELHO, Rodrigo Vaz et al. **Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, n. 2, 2015.
- COOPER, M. **Granulometria e textura do solo**. São Paulo, 2015. **Estrutura e agregação do solo: avaliação direta e relações massa:volume**. Física dos solos UFRGS, 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufrgs.br/handle/10168/10000>. Acesso em: 20/02/2024.
- MACHADO, Amanda Ozório; DE ARAÚJO, Joice Andrade. **Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil**. 2014.
- SANTOS, S. S. A.; CAMPOS, V. P. **Utilização de Resíduo Sólido de Estação de Tratamento de Água (lodo), como Matéria Prima para Confecção de Elementos da Construção Civil**. Rev. Virtual Quim, Bahia, v. 10, n. 2, p. 15-30, 2018.
- TSUGAWA, J. K. et al. **Caracterização das propriedades mecânicas do lodo de estação de tratamento de água visando seu reuso em obras de engenharia: abordagens geotécnica e reológica integradas**. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**. Solo - Determinação do limite de liquidez. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo - Análise